

## Comunicación AII-7

# ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE LOS RAYOS REGISTRADOS POR LA RED DE DETECCIÓN DEL I.N.M. EN EL PERÍODO DE 1992 - 1995

**Francisco Pérez Puebla**  
**J. Miguel Gutiérrez Núñez**  
Servicio de Teledetección del INM

**F. Javier López Ruiz**  
Servicio de Investigación y Análisis del Clima del INM

### RESUMEN

*Se presentan los resultados del análisis de los rayos registrados durante el trienio 1992 - 1995 en forma de mapas mensuales y anuales medios. Se describen las principales características de los niveles de actividad eléctrica registrada (niveles isoceráunicos medios) en el ciclo anual promedio del período considerado. Esta caracterización anual se efectúa por primera vez en España basándose en un sistema de detección automática de rayos por medio de radiogoniómetros dándose un avance cualitativo importante respecto a la subjetividad de las aproximaciones anteriores. Se realizan estimaciones del número medio de días de tormenta del período de estudio y se comparan con las evaluaciones climatológicas del período de 1931 a 1960 del Atlas Climático de España encontrándose grandes semejanzas.*

## 1. Introducción

Se han recopilado los datos de los rayos localizados entre los paralelos 35" y 45° norte y 10° oeste a 5" este del período comprendido entre el 28 de enero de 1992 y el 31 de enero de 1995 con el objeto de obtener unos mapas representativos del comportamiento medio de la actividad eléctrica atmosférica producida por los rayos entre las nubes y el suelo. Se ha realizado una evaluación previa de los períodos con carencia de datos que vienen a suponer menos de un 2% del período total de funcionamiento. Los boletines de caracterización de cada rayo contienen una información muy amplia de la que tan sólo utilizamos: las coordenadas geográficas, el instante en que se produjo el rayo, y los parámetros de calidad del cálculo de la posición para eliminar los datos con errores elevados.

El modo de operación ha consistido en la clasificación de la información útil en celdillas cuadradas de 30 kilómetros de lado y en la suma de los rayos mes a mes y año a año durante todo el período. La información así obtenida fue promediada para obtener los mapas representativos del período que son los que aquí se presentan como resultado del estudio interanual. Por otro lado, como fuente para analizar la variabilidad de los datos que se utilizan se han elaborado los mapas que evalúan el comportamiento de cada mes respecto del mes medio obtenido así como el porcentaje de cada año respecto al promedio considerado.

## 2. Sobre la variabilidad espacial y temporal de la actividad eléctrica

Del estudio de los mapas presentados se deduce que la magnitud del número de rayos registrados por unidad de área considerada oscila entre 1 y 2 700 para el año de máxima variación (entre 0,001 y 3 rayos por  $\text{km}^2$  al año). El año promedio tiene un rango máximo de variación de una celdilla a otra de 7 a 1 676, esto es, en torno a un par de órdenes de magnitud (desde 0,01 hasta 1,86 rayos por  $\text{km}^2$  y año). Sin embargo, cuando analizamos las diferencias entre el número de rayos registrados en cualquier celdilla para un año cualquiera y el promedio anual nos encontramos que son del mismo orden de magnitud y que a lo sumo la diferencia relativa sobre las zonas de buena eficiencia (Pérez, Gutiérrez y otros, 1996) no supera el 250% por exceso ni el 30% por defecto. Esto es, la actividad en las celdillas que más variación han sufrido de un año a otro está comprendida entre la tercera parte y el triple de la actividad promedio obtenida.

Cuando se estudia la variabilidad temporal de los datos para los períodos mensuales nos encontramos un rango máximo de variación mayor que puede alcanzar valores entre la quinta parte y el quíntuplo de la actividad registrada principalmente durante los meses de invierno en la zona anteriormente considerada. Pero, en ningún caso alcanza este rango de variación el factor diez de un orden de magnitud. Por tanto, la actividad eléctrica presenta una variabilidad enorme de un lugar a otro de la Península y, sin embargo, para una celdilla de cualesquiera coordenadas los valores de la densidad de rayos se mueven dentro del mismo orden de magnitud de un año para otro. Este hecho nos proporciona la posibilidad de que, a pesar de ser breve el período considerado e incluso habiéndose producido durante el mismo una persistente sequía, se puedan describir con bastante aproximación las características más generales de los campos de actividad eléctrica sobre la Península y mares próximos manteniendo la precisión al detalle de celdillas de  $900 \text{ km}^2$ .

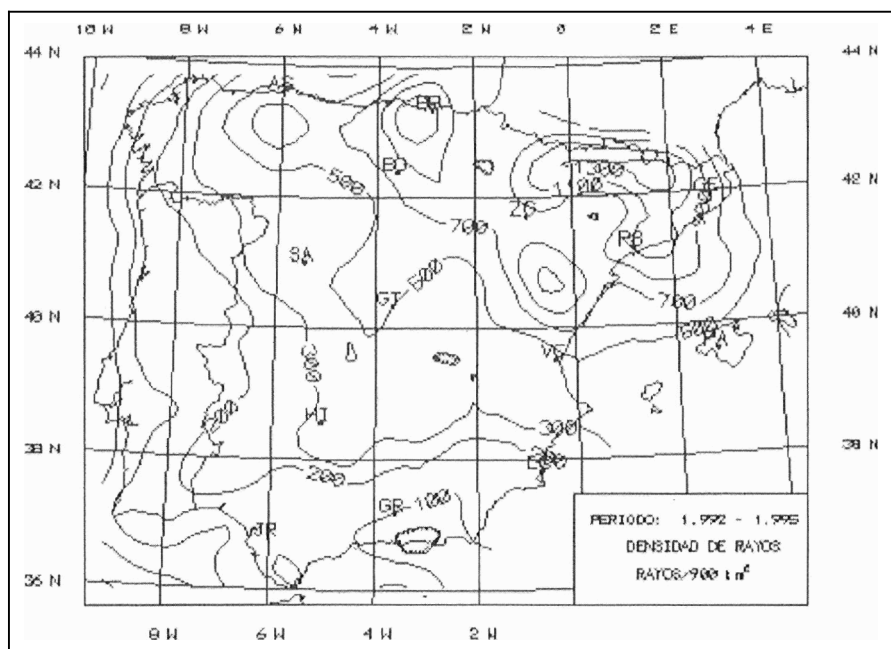
## 3. Descripción del grado de la actividad eléctrica anual

Se consideran cinco categorías para la actividad eléctrica anual según los valores de la densidad de rayos que correspondan a cada zona. Éstas son: a) Actividad despreciable o mínima si es menor de 0,1 rayos por  $\text{km}^2$  y año, b) Actividad baja o comprendida entre 0,1 y 0,5 rayos por  $\text{km}^2$  y año, c) Actividad media, entre 0,5 y 1 rayos, d) Actividad elevada o alta, entre 1 y 1,4 y e) Actividad extrema o máxima, por encima de 1,4 rayos por  $\text{km}^2$  al año.

La mínima actividad o despreciable con densidades inferiores a 1 rayo por cada  $10 \text{ km}^2$  se registró en zonas marcadas por la débil eficiencia de la red: en el sur de Andalucía (sobre todo en su parte oriental) así como en la zona más occidental de Galicia y Portugal donde apenas si se alcanzó un rayo cada  $10 \text{ km}^2$ . Estas zonas se identifican en el mapa de la Fig. 1 como las que quedan por debajo de la isoceraúnica de 100 rayos.

Actividad baja se registró en el resto de Galicia y Andalucía así como en Extremadura, Castilla La Mancha (salvo las estribaciones al sur de la Cordillera Central e Ibérica). También son bajos los niveles ceraúnicos en la mitad occidental de Castilla y León en sus comarcas más alejadas de las Cordilleras Cantábrica, Ibérica y sierras del Guadarrama y Gredos, donde la densidad de rayos alcanza la categoría de media. Sobre las Islas Baleares se registra una actividad baja aunque, al igual que en otras regiones mencionadas, se deja sentir el efecto de una eficiencia aún baja sobre todo en la parte oriental. En el mapa de la Fig. 1 son las regiones comprendidas entre las isoceraúnicas de 100 y 500 rayos las que reflejan la actividad baja.

La actividad se muestra elevada en las proximidades de la cabecera del Ebro (Cantabria, Burgos, comarcas orientales del País Vasco), en la parte sur del Sistema Ibérico (Teruel y proximidades), en las comarcas del norte de Aragón y en Cataluña (salvo la zona oriental de Girona). Las regiones de actividad elevada están representadas en el mapa de la Fig. 1 por los intervalos entre 900 y 1 300 rayos.



**Fig. 1. Niveles ceráunicos medios del periodo 1992 - 1995**

La densidad eléctrica alcanza valores extremos, por encima de 1,4 rayos por  $\text{km}^2$  y año (áreas por encima de la isoceráunica de 1 300 rayos en el mapa de la Fig. 1) en las estribaciones sur de los Pirineos aragoneses y leridanos y, en la sierra del Cadí.

El resto de zonas manifiestan una actividad media, entre 0,5 y 1 rayos por  $\text{km}^2$  y año (o para el mapa de la Fig. 1 entre las isoceráunicas de 500 y 900 rayos). Entre éstas se encuentran: las comarcas más elevadas del norte y el este de Castilla y León, las estribaciones del Sistema Central situadas hacia el este de Gredos, gran parte de Asturias y las comarcas orientales del País Vasco junto a Navarra y La Rioja. Son de media actividad ceráunica las comarcas del norte de las comunidades de Madrid y de Castilla La Mancha, así como el curso medio y bajo del Ebro. Las comarcas del este gerundés y del nordeste de Barcelona presentan media actividad eléctrica así como el norte de la Comunidad Valenciana y el sur de Cataluña.

Sobre el mar la actividad es media en el norte del golfo de Valencia y en el mar catalano-balear (entre el litoral catalán y la costa del noroeste de Mallorca), así como en el litoral asturiano y en el golfo de Vizcaya. La densidad de rayos alcanza la categoría de elevada entre los cabos de Ajo y Machichaco. Junto a las costas del litoral centro y sur de Cataluña se registran los mayores valores que se dan sobre el mar con densidades también elevadas comprendidas entre 1 y 1,4 rayos por  $\text{km}^2$  y año. Los niveles ceráunicos son bajos en el golfo de Cádiz, Costa del Sol y la zona costera comprendida entre la Albufera valenciana y el cabo de Gata. Es mínima la actividad en el mar de Alborán, en las costas atlánticas del centro y sur de Portugal y en las de La Coruña donde la temperatura de la superficie del mar suele ser más baja.

La distribución espacial de los rayos y la de precipitación exhiben ciertos paralelismos sobre todo durante el período estival. Los sistemas montañosos (con la excepción de los Béticos y Penibéticos quizás por el período de sequía sufrido) presentan una actividad relativamente mayor que la de los valles de los grandes ríos próximos donde suelen situarse los mínimos relativos de actividad buscando las cotas más bajas. La actividad eléctrica es superior en la Submeseta norte con respecto a la sur sugiriendo una dependencia estrecha de la densidad de rayos con la altitud. Se observa además que los máximos ceráunicos no se registran sobre las cumbres más elevadas sino en las cotas intermedias de las estribaciones de barlovento o mejor expuestas al flujo dominante.

También las líneas de densidad eléctrica manifiestan configuraciones cerradas de mínimos que podríamos denominar de sombra ceráunica en relación al descenso de la actividad eléctrica de forma notable en

la proximidad de núcleos de densidad importante como ocurre en la ribera baja de Navarra donde además tradicionalmente se sitúa un mínimo pluviométrico en la comarca de Las Bardenas y alrededores; o también en la comarca de Los Monegros ... etc. Algunas de estas estructuras cerradas podrían estar asociadas a un descenso notable de la eficiencia de la red o un verdadero mínimo de actividad en el período considerado (la costa tropical en Granada o las regiones manchegas).

#### 4. Régimen anual de la actividad eléctrica

Se evalúa en este apartado la distribución de la actividad a lo largo del año haciendo uso de un índice mensual local. Se trata sencillamente del porcentaje del número promedio de rayos de cada mes con respecto al promedio anual de los registrados en cada punto de la rejilla considerada. De este modo se obtiene la contribución de cada mes en relación al total de la actividad anual. Ésta es la forma más sintética de analizar espacialmente la distribución temporal o de expresar la totalidad de regímenes anuales de actividad eléctrica.

Esta forma de operar mejora la independencia de los resultados respecto del número total de rayos registrados si éstos han sido suficientes. Además, si hacemos la consideración razonable de que la eficiencia de la red para una determinada localización es bastante uniforme a lo largo del tiempo la influencia de la falta de eficiencia de la red en determinadas localizaciones se minimiza. Esto es, aunque sepamos que realmente hay una deficiencia en el número total de rayos detectados en una región determinada, el régimen de variación de la actividad a lo largo del año puede deducirse con muy buena aproximación.

##### 4.1. Evolución anual

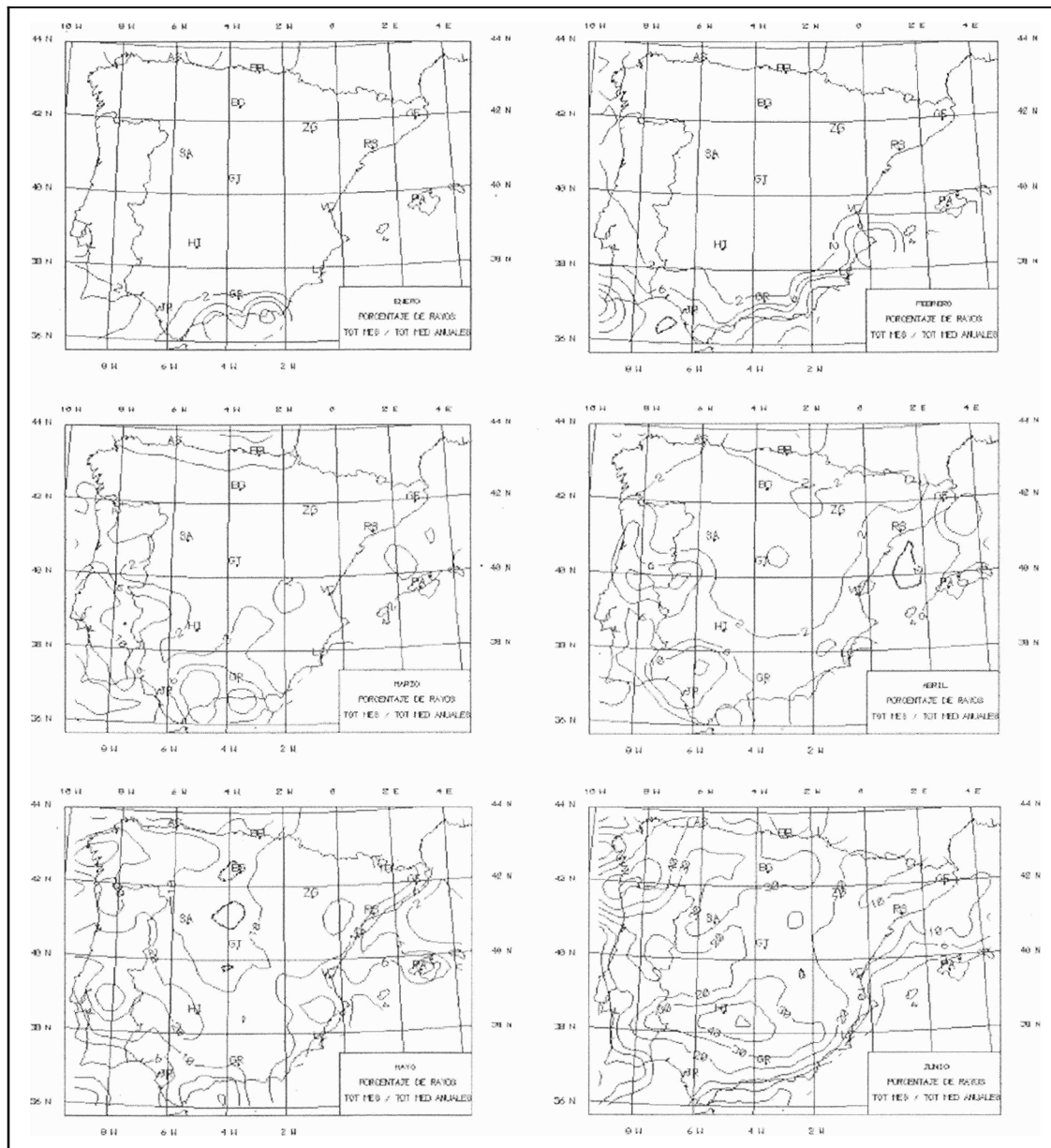
A continuación se exponen las características esenciales del análisis de la actividad mensual media local que queda reflejada en los mapas de porcentajes que se exhiben en la Fig. 2, donde se manifiesta la contribución local mensual al total de la actividad media anual.

En los cuatro meses que van de diciembre a marzo de los pocos núcleos de actividad que existen en la Península hay que destacar un máximo en las comarcas litorales del sureste peninsular (apenas si se alcanza el 20% de la actividad anual). Seguramente sea producto de los restos de actividad convectiva marítima del Mediterráneo (sur de la Comunidad Valenciana, litoral murciano y almeriense), y de las perturbaciones atlánticas invernales en el sur de Portugal y de Andalucía. En el resto de las costas y áreas marítimas próximas de la Península no se alcanza el 4% de actividad en todo el período, de modo que es prácticamente despreciable respecto al cómputo anual. Tan sólo en el mar de Alborán se observa que la actividad de los meses considerados puede aproximarse a un 40% del total anual. En el resto de las áreas interiores peninsulares hay ausencia total de actividad eléctrica.

Tras una incipiente actividad durante el mes de abril en el cuadrante suroeste peninsular donde destaca la provincia de Sevilla con un 20% de la actividad anual, comienza el mes de mayo con dos máximos importantes en las zonas de influencia marítima atlántica del Alentejo (con el 30%), Galicia (con el 30%) y Extremadura (alrededor del 20%).

Durante el mes de junio se mantiene el ritmo de la actividad en las regiones central y norte de Portugal y se desplaza la posición del máximo desde el Alentejo hasta el norte de Andalucía, sur de Castilla La Mancha y sur de Extremadura donde más de un 30% de la actividad anual se da en junio (por encima del 50% en los alrededores de la sierra de Córdoba). Se intensifica por encima del 30% de la actividad anual en Galicia, Asturias, región occidental de Cantabria y Castilla y León. Se llega a alcanzar un núcleo por encima del 50% de la actividad anual en las Rías Bajas y sur de Galicia. Al oeste del meridiano de 2º oeste prácticamente la totalidad de las regiones y comarcas registran durante este mes más del 20% de la actividad anual.

En el mes de julio se produce una nueva intensificación de la actividad en el interior peninsular y un adentramiento de los núcleos de máxima actividad anual relativa. Un núcleo con porcentajes superiores al 30% de la actividad anual se sitúa entre el Sistema Central y el litoral cantábrico (supera el 40% en el norte de Castilla y León). Otro núcleo que supera el 30% se sitúa entorno a la sierra de Albarracín y comarcas de alre-

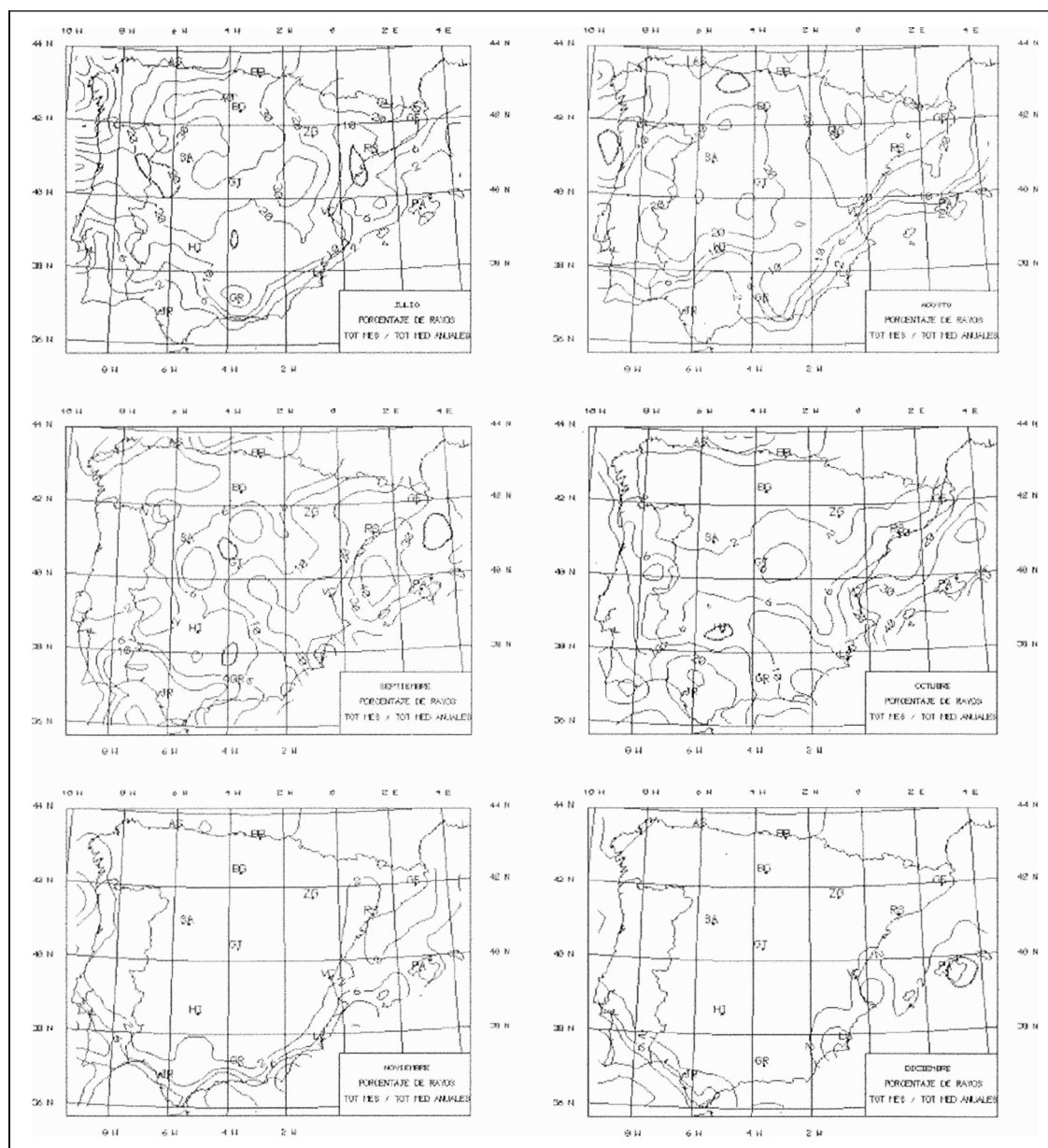


**Fig. 2.1.** Régimen anual medio de actividad eléctrica. 1992 - 1995. Isolíneas de porcentaje: 2, 6, 10, 20, 30, 40 y 50%

dedor. Se reduce la actividad en Andalucía occidental y sur de Castilla La Mancha por debajo del 10% anual y aparece un tercer núcleo de máxima actividad entorno a los Pirineos aragoneses con más del 20%.

Durante el mes de agosto se alcanza el punto álgido de la densidad absoluta de rayos de todo el área de estudio en el Pirineo aragonés con densidades mensuales que superan 0,67 rayos por  $\text{km}^2$ . Asimismo, se mantienen dos núcleos de máxima actividad relativa: el que afecta a las comarcas de ambas Castillas (más del 20% de la actividad anual) y el núcleo de la cuenca del Ebro (por encima del 20%) y, particularmente activo, el norte de Aragón (más del 40% de la actividad anual).

A lo largo del mes de septiembre comienza ya el declive de la actividad eléctrica desde el punto de vista de la densidad mensual de rayos. Pero se mantiene una potente actividad convectiva en Cataluña, y el inar balear que supone en términos del régimen anual de actividad valores por encima del 20% en todas las zonas y núcleos amplios en el golfo de Valencia y mar catalano-balear que superan el 40% de la actividad anual. Reaparece de nuevo la actividad eléctrica relativa en las comarcas atlánticas del golfo de Cádiz con áreas importantes que superan el 20% de la actividad anual.



**Fig. 2.2.** Régimen anual medio de actividad eléctrica. 1992 - 1995. Isolíneas de porcentaje: 2, 6, 10, 20, 30, 40 y 50%

Durante el mes de octubre la zona de máxima actividad del mar catalano-balear sigue su movimiento desplazándose hacia el sur del archipiélago y amplía la superficie marítima de afectación: golfo de Valencia y totalidad del mar catalano-balear por encima del 20% anual de actividad y hacia el sur de Baleares se superan el 40% y el 50%. Por otro lado, en el cuadrante suroeste peninsular se reactiva el núcleo incipiente del mes anterior intensificando al 20% o más su contribución anual en zonas también más amplias.

En el mes de noviembre desaparecen los vestigios que aún restaban durante el mes anterior en el interior peninsular y tan sólo se mantienen ciertos núcleos en la zona litoral mediterránea y en el golfo de Cádiz que aisladamente sobre el mar suponen zonas con un régimen del 10% al 20% de la contribución anual.

En la Península Ibérica y mares próximos se pueden apreciar, por tanto, diversos regímenes medios de actividad eléctrica. Los más importantes son: a) el régimen de un único máximo de actividad a lo largo de todo el año en el que prevalece el potencial convectivo derivado del fuerte caldeoamiento solar durante el semestre cálido. Esta situación se presenta en la inmensa mayor parte de las regiones y comarcas naturales del interior

peninsular, y b) el régimen de dos máximos anuales relacionados con la convección por forzamiento sinóptico asociada a las perturbaciones atlánticas y que se presenta fundamentalmente en las comarcas situadas más al sur de Andalucía y Portugal de influencia marítima atlántica. También se presenta en comarcas alejadas de la costa aunque queda muy enmascarado por diversas razones: una de ellas, la baja frecuencia de las borrascas atlánticas en el período considerado y, otra, la mayor eficiencia de la convección térmica frente al forzamiento sinóptico en la producción de rayos. Por otro lado, como se comentará más adelante, existen determinados regímenes irregulares que reflejan la combinación de los dos anteriores además de algunos incluso con más máximos que podrían indicar escasez de datos por falta de actividad en el período u otras causas.

El ciclo anual de la actividad manifiesta claros rasgos monzónicos. Durante el invierno, mientras los suelos continentales permanecen mucho más fríos que las superficies de los mares que rodean a la Península, desaparece la actividad eléctrica del interior peninsular y sólo permanece residualmente sobre los mares periféricos y **preponderantemente** sobre el más cálido. Sin embargo, durante el período en que la superficie peninsular supera en temperatura a la del mar, las tormentas muestran su preferencia sobre las zonas montañosas o de relieve abrupto del interior. La existencia del mar cálido en el este peninsular frente a otro relativamente frío en el oeste produce una asimetría en la distribución de rayos inclinándose la balanza hacia las regiones próximas al Mediterráneo más cálido.

Tras el período invernal, las regiones de máxima densidad de la incipiente actividad primaveral se sitúan en el suroeste pero, una vez que hace su aparición la convección térmica, se desplazan hacia el interior peninsular los máximos hasta que el caldeoamiento ya ha sido capaz de aumentar la diferencia de temperaturas en los mares que nos rodean. Esta diferenciación provoca una migración de los centros de máxima actividad desde la proximidad al Atlántico en la primavera hacia el interior del Mediterráneo en el otoño.

Resumiendo, el mes de mayor actividad relativa es: a) Junio, para Galicia y Asturias, la zona occidental y norte de Andalucía y zona sur de Castilla La Mancha y Extremadura. b) Julio, para el norte de Castilla y León, y Granada. c) Agosto, para el Pirineo navarro y aragonés. d) Septiembre, para el litoral catalán, el mar catalano-balear y Comunidad Murciana. e) Octubre, para el Archipiélago Balear y golfo de Cádiz.

#### 4.2. El régimen anual de determinadas **ciudades**

Además de los dos regímenes anuales de actividad eléctrica se observan también otros regímenes más irregulares. Concretamente para las ciudades donde están emplazados los equipos detectores de rayos del INM se tienen los siguientes casos: con dos máximos relativos pero uno de ellos despreciable frente a la magnitud del absoluto (Bilbao con un 4% en marzo frente a **33%** en julio, Asturias con un 4% en octubre frente a 36% en junio), con tres máximos relativos pero uno de ellos despreciable (Granada con un **6%** en marzo frente a 25% en junio y 10% en octubre), con tres máximos dos de ellos débiles frente al absoluto en San Javier (Murcia con un 10% en febrero y abril y, un 40% en septiembre) e incluso con cuatro máximos como en Jerez todos ellos débiles (8% en febrero, 14% en abril, 15% en junio, y 25% en octubre).

Durante el período más cálido del año (mayo-septiembre) se observa que la actividad eléctrica se da preferentemente en la zona interior peninsular. A continuación estudiamos el grado de concentración de la actividad eléctrica a lo largo del tiempo y particularmente en relación a este período cálido para saber en qué medida el factor determinante de la convección fue térmico o sinóptico.

Durante el período cálido se producen en la totalidad de emplazamientos de equipos detectores de rayos situados en áreas de influencia netamente continental más del 90% de los rayos de todo el año (Burgos, Asturias, Salamanca, Hinojosa, Zaragoza y Getafe). La influencia marítima atlántica se manifiesta en Jerez con el 65% de la actividad fuera del período cálido y los cuatro débiles máximos en la actividad anual: en febrero, abril, junio y octubre. Una influencia mixta atlántico-mediterránea se da en Granada con el 25% en el período frío y un segundo máximo anual aunque leve en octubre. La influencia determinante es netamente mediterránea en Palma de Mallorca, Murcia o Valencia con valores entre el 40 y el 60% de la actividad anual fuera del período considerado como cálido y entre un 55 y un 70% del total de la actividad durante el otoño. El régimen eléctrico anual de Murcia es un tanto irregular puesto que presenta tres máximos: dos débiles en febrero y abril; y el tercero del 40% en el mes de septiembre.

En Gerona y Reus hay una menor influencia mediterránea puesto que poco más del 10% de la actividad anual se produce durante el otoño (y no llega al 20% fuera del período cálido). En el caso de Reus se pueden observar dos máximos: el de junio (13%) y el de septiembre (28%). Hay una débil influencia de borrascas atlánticas en el caso de Bilbao o Asturias con apenas un 13% y un 10% de la actividad fuera del período cálido. Burgos, Zaragoza y Salamanca con valores de la actividad inferiores al 6% del total anual fuera de los meses cálidos destacan por su continentalidad. El resto, Hinojosa y Getafe, tienen ciertas reminiscencias oceánicas en el origen de su actividad eléctrica puesto que alrededor del 10% de la actividad anual se da fuera del período cálido.

Se observa una estrecha relación entre las temperaturas de la superficie del agua del mar y la posición de los núcleos de mayor actividad eléctrica. Por un lado, la mayor densidad coincide con la zona más cálida del Mediterráneo, y además se alcanzan las mayores temperaturas y densidades de rayos aproximadamente en las mismas fechas: a comienzos del otoño. También se observa que una temperatura baja en la superficie del agua es un factor claramente disuasivo para la convección. Así, en las regiones marítimas más frías producidas por las corrientes marinas se registran también valores mínimos de la actividad eléctrica. Este último es el caso de la costas atlánticas portuguesas y más concretamente la zona centro. También, la zona oriental del Estrecho de Gibraltar y el mar de Alborán sometidos a la influencia de la corriente fría de alimentación del Mediterráneo manifiestan una actividad eléctrica despreciable.

Por otro lado, se puede apreciar cómo las zonas marítimas más cálidas del Mediterráneo toman el relevo a las continentales del interior peninsular en actividad durante el final del verano y el otoño ubicándose sobre ellas los máximos absolutos que en la primavera y el verano anterior se situaban en las zonas peninsulares de orografía más montañosa. La mayor intensidad de los máximos de densidad eléctrica sobre el mar se produce en septiembre y octubre y alcanza valores muy semejantes a los registrados durante el mes de julio en los sistemas montañosos con máximas densidades (Pirineos e Ibérico) aunque no se llegue a alcanzar el máximo mensual absoluto del año que se da durante el mes de agosto entre el Pirineo aragonés y la sierra de Guara. La oscilación anual en la actividad eléctrica (diferencia entre el menor y el mayor número de rayos registrados) sobre el mar es por lo general (salvo en algunas zonas próximas a la costa centro y sur de Cataluña) de dos órdenes de magnitud mientras en tierra amplias zonas alcanzan los tres.

El momento del año en el que se producen los máximos sobre el mar está retrasado (salvo en las pocas regiones de influencia atlántica que manifiesta un régimen de doble máximo) cerca de dos meses debido a la facilidad de almacenamiento energético de los mares interiores frente a los continentes. Esto es, mientras en tierra los máximos de densidad se registran entre julio y agosto, sobre el mar es entre septiembre y octubre.

El régimen anual para las localidades donde hay equipo detector de rayos se observa que presenta los máximos de actividad durante junio (Asturias con el 36%, Salamanca con el 30% e Hinojosa del Duque con el 42%) en los situados más hacia el oeste, durante julio en los del centro peninsular (Burgos con el 35%, Getafe con el 28% y también en Bilbao con el 33%), en Zaragoza como zona continental situada más hacia el este se produce el máximo de actividad en agosto con el 30%. En Reus (28%), Gerona (23%) y Murcia (40%) el mes más activo es septiembre y, en Valencia (28%) y Palma de Mallorca (40%) se producen durante el mes de octubre los extremos de actividad. Cuentan con un segundo máximo relativo de actividad a lo largo del año además de los ya mencionados: Reus (en junio con el 13%), Palma de Mallorca (en mayo con el 10%) y Valencia (en junio con el 12%).

## 5. Estimación del número medio de tormentas del período

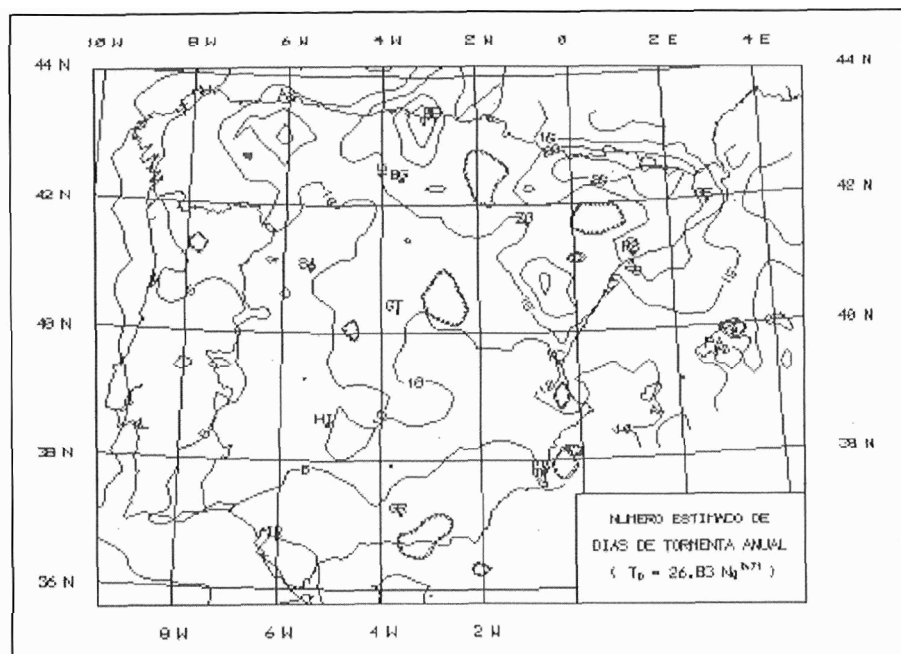
Se han realizado bastantes intentos de correlación entre la densidad anual de rayos y el número anual de días de tormenta en varios países. Hemos escogido los resultados del trabajo de Makerras en 1978 (Uman, 1987) por sus analogías con el caso español (los valores extremos registrados en la densidad anual de rayos por km<sup>2</sup> por Makerras oscilan entre 0,2 y 3,0). La fórmula obtenida por Makerras asegura que, para un número de días anual de tormenta dado, la diferencia entre el número de rayos registrado y el deducido por la fórmula no es mayor del 100%. La mayoría de las relaciones deducidas entre ambas magnitudes son casi lineales. Makerras dedujo la fórmula:

$$T_d = 26,83 N_g^{0,71}$$

donde  $T_d$  es el número anual de días de tormenta y  $N_g$ , la densidad anual de rayos por kilómetro cuadrado.



De este modo se obtuvo el mapa sobre estimación del número medio de días de tormenta anual para el período seleccionado que se adjunta en la Fig. 3. El objetivo primordial es la comparación de este producto con la estimación presentada en el Atlas Climático de la Península por Inocencio Font encontrándose las siguientes analogías y diferencias más significativas:



**Fig. 3.** Número anual medio estimado de días de tormenta. 1992 - 1995

a) Por la naturaleza de los sistemas de observación considerados sólo a partir del automático se pueden deducir estimaciones del comportamiento sobre los mares lo que se realiza aquí por primera vez en zonas marítimas de eficiencia suficientemente buena.

b) Las características generales de los campos descritos en ambas cartas coinciden con bastante aproximación independientemente de que una represente una estimación climática con algunos registros de un período de 30 años y la nuestra sólo corresponda al período de tres años referido anteriormente.

c) Las diferencias entre los rangos de variación en uno y otro caso son mínimas y podrían deberse a la superior disponibilidad en la vigilancia por parte de la red automática de vigilancia en los valores más elevados. Para la aproximación climática el número de días de tormenta va desde 5 hasta 30. En nuestro resultado oscila entre apenas una y poco más de 30. Obviamente el análisis de observaciones tradicionales debería proporcionar valores inferiores del número de tormentas sobre todo en las montañas por las carencias de cobertura como se aprecia en la generalidad de las regiones.

d) En el Sistema Central y en las sierras occidentales mallorquinas se produce el fenómeno inverso, esto es, el análisis climático proporciona medias superiores al del promedio del sistema automático de observación. Esta diferencia podría ser perfectamente una anomalía de los años considerados respecto del promedio considerado de 30 años.

## 6. Conclusiones

Por lo que respecta al mapa de densidad de rayos de la Fig. 1 (mapa de actividad cerámica) aquí presentado como promedio de los años de que se dispone datos, cabe destacar que, a pesar del enorme rango de variación de la magnitud de estudio, se ha observado una regularidad espacial de un año para otro, mante-

niendo al menos el orden de magnitud de la densidad de rayos en cada celdilla de 30 por 30 km<sup>2</sup>, lo que facilita la obtención de resultados de un análisis como éste a pesar de ser corto el período de tiempo del que se dispone datos. En esta línea, la obtención de un mapa medio del número estimado de días de tormenta (Fig. 3) que no manifiesta grandes discrepancias con el reconocido oficialmente en el Atlas Climático de España sirve no sólo para «justificar» los resultados obtenidos mediante el sistema de teledetección sino que da un gran espaldarazo a esta técnica como única capaz de superar las pérdidas de cobertura y de disponibilidad de los sistemas tradicionales cargados además de una gran subjetividad. Se presentan también, por primera vez, las cartas mensuales (Fig. 2) del régimen de actividad eléctrica de la Península que proporcionan con fidelidad la totalidad de los posibles regímenes anuales de tormentas que existen en la Península y mares próximos.

### Referencias

*Inocencio Font y otros. Atlas Climático de España. Madrid. 1983.*

*Francisco Pérez, Miguel Gutiérrez y Javier López. Análisis de las intensidades de los rayos registrados en la Península Ibérica en el período de 1992 a 1995. Póster presentado al IV Simposio Nacional de Predicción del INM. 1996.*

*Martin A. Uman. The Lightning Discharge. Academic Press, Inc. Vol. 39. International Geophysics Series. 1987.*

### Agradecimientos

*A todos los compañeros que desempeñan sus trabajos en los observatorios dotados de equipos detectores de rayos en reconocimiento a su colaboración en el mantenimiento operacional de la red de detección de rayos sin la cual no habríamos dispuesto de los datos manejados en este trabajo.*